

ANALISIS TERMAL *STAINLESS STEEL ICE CUBES* DENGAN MENGGUNAKAN SENSOR TERMOKOPEL DS18B20 BERBASIS ARDUINO

Luthfi^{1,*}

¹Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jl. Banda Aceh – Medan Km.280 Buketrata

*e-mail: luthfi@pnl.ac.id

Abstract

Stainless ice cubes as reusable ice packs have recently become more popular for cooling food and beverages. Compared to ordinary water-based ice cubes, they will not alter the taste as they do not melt and mix with food/drink, and in the long run, they can save money as they can be reused. Due to little information on their technical performance in the literature, this study will investigate their thermal characteristics, especially when compared to water ice cubes and custom-made stainless ice cubes. A water-proved temperature measurement system consisting of 5 pieces of DS18B20 thermocouple sensor controlled by Arduino UNO DIP Microcontroller was built and tested for this purpose. The tests were conducted on three separate drinking glasses containing three different ice cubes. The measurement system successfully revealed the temperature evolution of the three types of ice cubes. Water ice cubes still produced the coldest water temperature, although the commercial ice cubes purchased from the online market are not too far behind. Custom-made ice cubes containing no Phase Change Material (PCM) substance inside them do not significantly cool the water.

Keywords: *stainless steel, ice cubes, thermocouple DS18B20, Arduino, temperature.*

PENDAHULUAN

Teknologi *reusable ice pack* telah lama dimanfaatkan untuk transportasi bahan-bahan medis, obat-obatan atau bahan makanan mudah busuk sebagai alternatif yang murah dari penggunaan teknologi refrigerasi. *Ice pack* biasanya berbentuk lempengan yang diisi dengan cairan tertentu yang kemudian dibekukan selama 6-24 jam sebelum dioperasikan selama lebih dari 6 jam dan dapat digunakan berulang kali ketika diperlukan [1]. *Ice pack* selain dapat digunakan untuk pengiriman produk susu, es krim, yogurt, sayur-sayuran, obat-obatan, bahan kimia, juga dapat digunakan untuk pengangkutan hasil tangkapan laut [1]. Penggunaan *reusable ice pack* akan sangat efektif karena dapat menggantikan es batu

sehingga dapat menghemat biaya pembelian es batu hingga 70% [1].

Teknologi *ice pack* saat ini sudah berkembang lebih jauh hingga juga digunakan dalam ukuran yang lebih kecil yang sering disebut *reusable ice cubes*. Seperti halnya dalam dunia industri, proses pembuatan makanan dan minuman telah lama memanfaatkan es batu terutama dalam pembuatan makanan/minuman dingin. Selain karena faktor biaya, penggunaan es batu biasa berbahan dasar air dapat mengurangi rasa dari minuman/makanan ketika es batu yang digunakan mencair dan tercampur ke dalam makanan/minuman yang didinginkan. Penggunaan es batu biasa saat ini sudah kurang begitu populer karena telah lama diduga menjadi penyebab penyebaran wabah penyakit karena proses

pembuatannya sering menggunakan air yang kurang higienis [2]. Shruti et al. [3] Juga menemukan adanya kontaminasi mikroplastik dari es batu yang digunakan pada makanan. *Reusable ice cubes* saat ini dianggap sebagai bahan alternatif dari es batu dan penggunaannya dalam industri makanan dan minuman dapat selain dapat mengatasi kekurangan dan kelemahan dari es batu juga dapat menghemat biaya jika digunakan dalam jangka panjang karena *reusable ice cubes* dapat digunakan berulang-ulang.

Material yang digunakan dalam proses pembuatan *reusable ice cube* ini ada banyak jenisnya yang ditemukan dalam literatur. Zou et al. telah meneliti penggunaan ice cube gelatin berbasis *hydrogel* [4]. *Ice cubes* yang mereka teliti diberi nama "*jelly ice cubes*" atau JICs dan mereka menemukan penggunaan JICs yang tidak mengandung bahan plastik dapat mencegah kontaminasi dan selain itu juga JICs juga harganya terjangkau, dapat didaur ulang dan terbuat dari bahan yang sustainabel. Mereka juga menguji JICs pada temperatur ekstrem hingga $-198\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan menemukan sifat-sifat dari material yang digunakan oleh *ice cube* tetap stabil [5].

Ice pack dan *ice cube* biasanya terbuat dari *casing* yang diisi dengan material/bahan yang dapat berubah fasa (*phase change material*) atau sering disebut PCM. Material PCM ini penggunaan dan aplikasinya sangat beragam dan telah banyak dipelajari dalam berbagai literatur. Material PCM dapat digunakan untuk mendinginkan minuman sehingga dapat memperpanjang masa non-aktif penggunaan kompresor dari suatu mesin pendingin seperti yang telah diteliti oleh Ezan et al. [6]. Mereka menggunakan software Komputasi Fluida Dinamik (CFD) ANSYS Fluent dalam membuat simulasi numerik dari mesin pendingin yang mereka teliti dan mereka membuktikan penggunaan PCM dapat mengurangi penggunaan kompresor. Penggunaan PCM secara lebih luas dan bervariasi telah direview secara

mendalam oleh Oro et al. [7]. Mereka merangkum penggunaan PCM pada temperatur rendah kurang dari $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ baik secara teoritik maupun eksperimental dari 88 jenis PCM dimana 40 diantaranya adalah PCM yang digunakan secara komersial. Mereka juga mendiskusikan permasalahan dengan PCM seperti stabilitas dalam jangka panjang, korosi, segregasi fasa dan stabilitas dalam penggunaan siklus panjang dan berulang. Aplikasi dari material PCM yang mereka review sangat luas mulai dari ruang penyimpanan es, pengkondisian udara sampai dengan truk yang menggunakan sistem refrigerasi.

Material PCM yang penggunaannya khusus pada bidang penyimpanan energi termal pada temperatur menengah dan rendah antara $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai dengan $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ telah direview secara komprehensif oleh Pereira da Cunha dan Eames [8]. Mereka mereview kemampuan penyimpanan energi termal dari berbagai senyawa organik, larutan garam hidrat dan senyawa eutektik. Mereka menemukan, untuk penggunaan pada temperatur di bawah $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, senyawa organik dan larutan garam hidrat akan memberikan performansi penyimpanan termal yang paling optimal. Sedangkan untuk penggunaan di atas $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ mereka merekomendasikan untuk menggunakan senyawa eutektik.

Reusable ice cubes yang terbuat dari material *stainless steel* seperti yang akan dipelajari dalam artikel ini belum banyak diteliti sebelumnya dan literatur yang tersedia juga sangat terbatas. Kumar et al. [9] mendesain dan membuat *reusable ice cubes* dengan pertimbangan es batu yang biasa digunakan di pasaran banyak mengandung bakteri patogen yang tidak aman untuk dikonsumsi. Mereka menggunakan suatu selongsong logam yang di dalamnya diisi dengan material PCM yang terbuat dari campuran air portable (PW), air distilasi (DW) dan larutan gula dan garam yang divariasikan kadarnya. Mereka membandingkan ice cube buatan mereka

dengan es batu biasa dan mereka menemukan performansi termal yang sama baiknya. Luthfi et al. [10] merancang *stainless steel ice cubes* dengan menggunakan material *stainless steel 316 food grade*. Berbeda dengan Kumar et al, mereka hanya menggunakan material logam tanpa adanya material PCM yang diisi di bagian dalamnya. Mereka menemukan performansi *ice cubes* yang terbuat dari 100% logam performansi termalnya tidak sebaik es batu biasa.

Stainless steel ice cubes yang akan dipelajari dalam artikel ini pada dasarnya sudah banyak beredar di pasaran online. Motivasi dari pengarang untuk melakukan penelitian pada topik ini adalah karena studi mengenai *reusable ice cubes* belum banyak dilakukan dan hanya fokus pada isu kesehatan dan komersialnya saja. Sedangkan faktor utama yang menentukan seberapa efektif *stainless steel ice cubes* dapat mendinginkan makanan atau minuman adalah performansi termalnya dan ini belum banyak pernah ditinjau secara mendalam pada studi *reusable ice cubes* yang ditemukan pada literatur. Dengan pertimbangan hal tersebut, pengarang ingin mempelajari karakter unjuk kerja termal dari *stainless steel ice cubes* yang dijual di pasaran, apakah *stainless ice cubes* memiliki kemampuan mendinginkan minuman atau makanan sebaik es batu biasa atau apakah penggunaan material PCM di dalam *stainless ice cubes* itu penting dan memang perlu dilakukan.

METODE

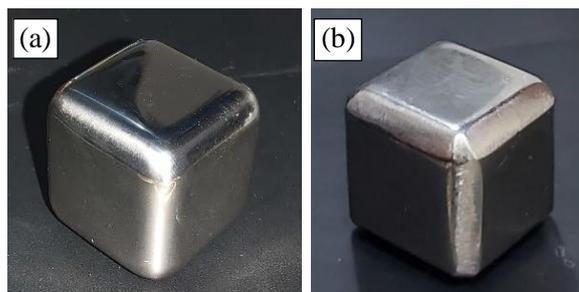
Spesimen *stainless steel ice cubes* komersial yang menggunakan material PCM dibeli secara online dari Tokopedia dan dalam pengujian akan dibandingkan dengan es batu biasa dan *stainless ice cubes* tanpa menggunakan PCM yang dibuat oleh Luthfi et al. [10]. Dalam mengukur dan menguji performansi termal dari *reusable ice cubes*, digunakan sensor termokopel DS18B20

yang dijalankan secara real time dengan menggunakan mikrokontroler Arduino.

Detail mengenai spesimen *stainless steel ice cubes* yang digunakan dalam proses pengujian termal, sensor termokopel, mikrokontroler Arduino, peralatan pendukung, rangkaian dan prosedur pengujian yang dilakukan akan diuraikan secara lebih mendalam sebagai berikut.

Spesimen yang Digunakan

Stainless steel ice cube komersial yang tersedia untuk dibeli di pasar online ada banyak jenisnya, mulai dari yang standar dengan harga terjangkau sampai dengan yang memiliki kualitas dan harga premium, sehingga pemilihan jenis yang dipilih untuk digunakan dalam pengujian memerlukan suatu pertimbangan yang mendasar. Yang menjadi dasar dalam pemilihan specimen adalah yang banyak dibeli dan digunakan oleh konsumen yaitu *stainless steel ice cube* merek Leeseeph. Bentuk dari specimen dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Spesimen uji *stainless steel ice cube* (a) komersial dan (b) custom.

Karena specimen ini berukuran $2.5 \times 2.5 \times 2.5$ cm, maka specimen lain yang akan digunakan sebagai perbandingan yaitu es harus memiliki ukuran yang serupa. Detail dari jumlah specimen yang digunakan dalam pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

Untungnya, cetakan es batu yang banyak tersedia di pasaran juga berukuran sama dan specimen *stainless steel ice cubes* custom tanpa PCM yang digunakan oleh Luthfi et al. [10] juga berukuran sama.

Tabel 1. Spesimen yang digunakan

No	Spesimen	Ukuran	Jumlah
1	Stainless steel ice cubes komersial	2,5cm ×2.5cm ×2.5cm	4
2	Stainless steel ice cubes custom	2,5cm ×2.5cm ×2.5cm	4
3	Es batu biasa	2,5cm ×2.5cm ×2.5cm	4

Sensor Termokopel dan Rangkaian Mikrokontroler Arduino

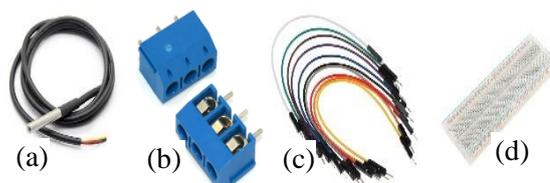
Metode yang digunakan untuk menguji performasi termal adalah dengan mengukur temperatur secara real time ketika spesimen digunakan untuk mendinginkan makanan. Dari sekian banyak metode pengukuran temperatur yang tersedia, yang dipilih untuk pengujian ini adalah sensor termokopel DS18B20 dengan pertimbangan selain cukup akurat dan tahan air, pengukuran pada banyak titik dengan menggunakan banyak sensor akan lebih mudah untuk diimplementasikan. Sensor DS18B20 telah banyak digunakan sebelumnya dalam studi yang serupa yang ditemukan dalam literatur [11-13].

Sensor DS18B20 kemudian akan dirangkai pada *breadboard* dengan bantuan beberapa buah kabel *jumper male to male* sebelum kemudian dihubungkan ke mikrokontroler Arduino. Detail dari peralatan yang digunakan pada rangkaian mikrokontroler Arduino dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Peralatan yang digunakan pada rangkaian mikrokontroler Arduino

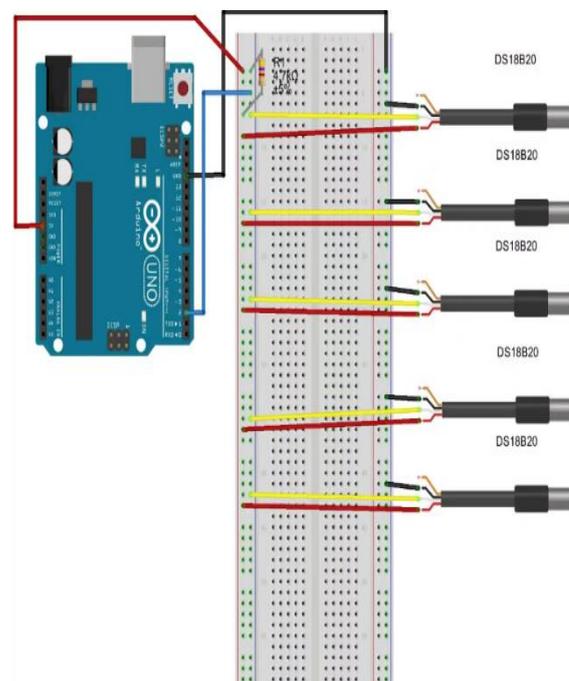
No	Peralatan/Komponen	Jumlah
1	Sensor DS18B20 satu meter	5 buah
2	Terminal Block 3 pin	5 buah
3	Breadboard 830 holes	1 buah
4	LCD I2C 2×16	1 buah
5	Jumper Wire 20 cm	15 helai
6	Jumper Wire 10 cm	15 helai
7	Resistor 4.7 kΩ	1 buah
8	Arduino UNO DIP + kabel USB	1 set

Sebelum dapat dihubungkan ke *breadboard*, kabel dari sensor DS18B20 harus dipasangkan ke terminal blok dulu. Karena jumlah kabel pada sensor DS18B20 ada 3 buah, maka jumlah pin pada terminal blok juga harus 3. Setelah sensor dihubungkan ke *breadboard* kemudian baru dapat dibuat rangkaian dengan menggunakan kabel *jumper*. Gambar dari sensor DS18B20, terminal blok 3 pin, kabel *jumper* dan *breadboard* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Komponen utama rangkaian (a) sensor DS18B20 (b) terminal blok 3 pin (c) kabel *jumper* dan (d) *breadboard* 830 lubang.

Detail rangkaian peralatan dapat dilihat pada Gambar 3 yang dikerjakan berdasarkan saran dari Handaru [14].



Gambar 3. Rangkaian sensor termokopel [14].

Rangkaian peralatan pada Gambar 3 dirakit dengan tahapan berikut yaitu kabel vcc pada 5 buah sensor DS18B20 dihubungkan satu sama lain pada *breadboard* sebelum dihubungkan ke pin 5 V pada Arduino, sedangkan seluruh kabel gnd juga dirangkai terlebih dahulu sebelum dihubungkan ke pin gnd pada Arduino. Kabel data dari 5 buah sensor DS18B20 juga dirangkai seperti halnya kabel vcc dan kabel gnd sensor namun dihubungkan juga dengan jalur vcc dengan menggunakan resistor 4.7 k Ω . Untuk mempermudah pemantauan hasil pengukuran temperatur, LCD 2x16 juga digunakan dalam rangkaian.

Peralatan Pendukung

Pada proses pengujian, spesimen akan dimasukkan ke dalam gelas yang telah diisi air. Gelas yang digunakan adalah gelas biasa yang ukurannya cukup tinggi untuk penempatan sensor termokopel dan spesimen *ice cubes* supaya jaraknya tidak saling berdekatan untuk menghindari *error* dalam pengukuran. Untuk memastikan volume air yang digunakan sama dan konsisten untuk setiap pengujian, gelas ukur digunakan untuk menakar air yang dituangkan ke dalam gelas. Air yang digunakan adalah air minum biasa sebanyak 250 ml untuk mayoritas pengujian walaupun ada juga pengujian yang melakukan variasi pada jumlah air yang digunakan.

Rangkaian mikrokontroler Arduino dihubungkan ke laptop untuk pembuatan kode pemrograman yang diperlukan dalam menjalankan pengukuran. Untuk membuat dokumentasi dari pelaksanaan pengujian, kamera dipasang pada tripod dan diletakkan di depan gelas-gelas uji yang berisi spesimen. Detail dari peralatan pendukung yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.

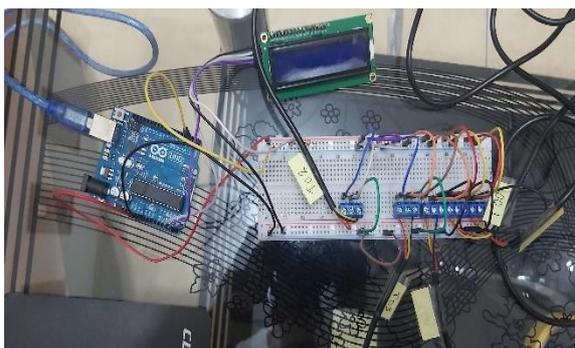
Tabel 3. Peralatan pendukung yang digunakan dalam pengujian

No	Peralatan/Bahan	Jumlah
1	Gelas Biasa	4 buah
2	Selotip	1 buah
3	Gelas Ukur 250 ml	1 buah
4	Air	250 ml
5	Laptop	1 set
6	Kamera + Tripod	1 set

Prosedur Pengujian

Pelaksanaan pengujian secara garis besar dibagi atas empat tahapan. Untuk tahap awal, rangkaian sensor termokopel DS18B20 dan Arduino dirangkai terlebih dahulu dan diuji melalui kode program yang dijalankan pada komputer. Setelah itu sensor termokopel dipasang pada gelas, diikuti dengan penuangan air ke dalam gelas dan penempatan spesimen di dalam gelas. Kamera dan tripod disesuaikan posisinya untuk dapat membuat dokumentasi dengan sudut yang baik. Setelah itu dilakukan tahap pengetesan untuk menentukan bagaimana sebaiknya spesimen dan sensor ditempatkan di dalam gelas. Setelah posisi sensor dan spesimen yang optimum telah ditentukan maka dilaksanakan tahapan pengujian.

Proses perangkaian dimulai dengan mula-mula menyambung masing-masing tiga buah kabel dari 5 buah sensor DS18B20 ke 5 buah terminal blok 3 pin. Setelah itu kabel-kabel termokopel dirangkai berdasarkan susunan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Hasil perangkaian sensor pada *breadboard* dan mikrokontroler Arduino yang siap dipakai untuk mengukur temperatur pengujian dapat dilihat pada Gambar 4. Untuk memastikan sensor termokopel tidak bergeser selama pengujian, kabel sensor direkatkan pada bagian luar gelas dengan menggunakan selotip.



Gambar 4. Hasil perangkaian sensor DS18B20 pada *breadboard* dan mikrokontroler Arduino.

Pengetesan proses pengujian pertama kali dilakukan dengan menempatkan spesimen secara bebas tanpa ada intervensi. Kedua spesimen *stainless steel ice cubes* baik komersial ataupun custom akan tenggelam di dasar gelas sementara es batu akan terapung (Gambar 5). Posisi seperti ini menimbulkan dilema karena untuk spesimen yang tenggelam di dasar gelas, air menjadi dingin hanya di dasar gelas saja sedangkan air di bagian atas tetap tidak terpengaruh oleh adanya spesimen sementara untuk gelas yang diisi oleh spesimen es batu biasa, terjadi pengadukan secara alamiah karena air dingin akan selalu turun dengan sendirinya menuju dasar gelas sehingga temperatur air akan lebih merata. Selain itu juga mencairnya es juga akan menambah volume dari air di dalam gelas.



Gambar 5. Posisi sensor termokopel dan spesimen ketika ditempatkan di dalam gelas berisi air.

Supaya proses pengujian hasilnya lebih konsisten, ketiga spesimen akan dibungkus plastik dan digantung pada bagian atas gelas sehingga efek yang

ditimbulkan oleh setiap spesimen akan serupa dan tidak terjadi penambahan volume air akibat mencairnya spesimen (Gambar 6).



Gambar 6. Spesimen dibungkus dan digantung pada bagian permukaan air di dalam gelas.

Proses pengujian spesimen kemudian dilakukan dengan menggunakan tiga buah gelas masing-masing berisi 250 ml air untuk spesimen yang berbeda. Detail dari variasi parameter dari masing-masing gelas dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Variasi parameter pengujian

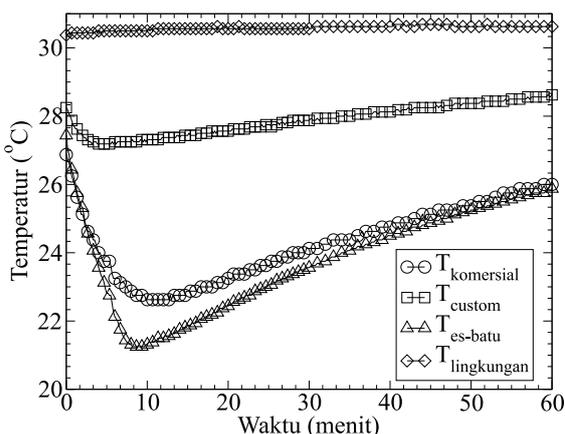
Gelas	Spesimen	Jumlah	Volume
1	Komersial	2	250 ml
2	Custom	2	250 ml
3	Es Batu	2	250 ml

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran temperatur dari pengujian seperti pada Gambar 7 menunjukkan perubahan temperatur air dalam gelas untuk berbagai spesimen dan temperatur udara lingkungan di sekitar lokasi pengujian. Secara umum temperatur air akan menurun secara cepat hingga mencapai suatu nilai minimum sebelum kemudian secara perlahan hingga secara asimptotik mendekati temperatur lingkungan sekitar 30 – 31 °C.

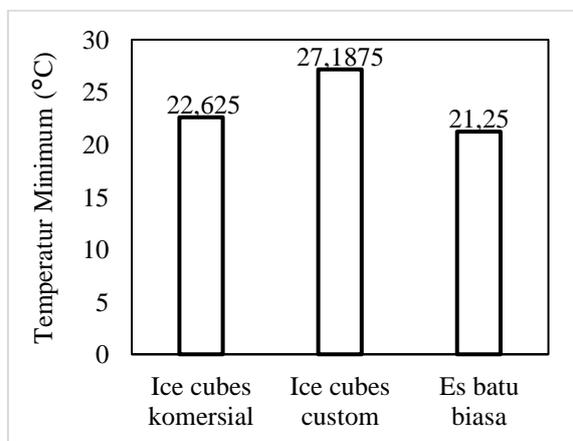
Temperatur air dalam gelas yang berisi es batu biasa tetap yang paling dingin dari sejak awal hingga pengukuran temperatur selesai dilakukan yaitu sekitar 60 menit setelah pengukuran dimulai. Seperti yang ditemukan sebelumnya oleh Luthfi et al. [10], temperatur air yang menggunakan spesimen *stainless steel ice cubes* biasa tanpa PCM tidak berubah banyak dan sangat

jauh berbeda dengan temperatur air baik yang menggunakan es batu biasa ataupun yang menggunakan *stainless steel ice cubes* komersial yang berisi material PCM di dalamnya. Yang menarik adalah perbedaan temperatur air yang menggunakan ice cube komersial bahkan hanya berbeda sedikit saja dengan es batu biasa. Hal ini menunjukkan penggunaan material PCM di dalam *stainless steel ice cubes* adalah penting dan perlu dilakukan.



Gambar 7. Evolusi temperatur air dalam gelas terhadap waktu dari pengujian berbagai jenis spesimen *ice cubes*.

Temperatur minimum air dalam gelas untuk setiap spesimen yang berbeda dari Gambar 7 kemudian dicatat dan dibuat ke dalam grafik terpisah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

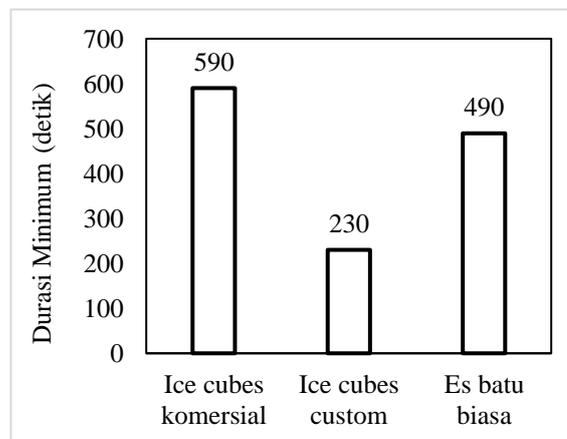


Gambar 8. Perbandingan temperatur minimum air dalam gelas dari berbagai jenis spesimen *ice cubes*.

Dari gambar jelas terlihat temperatur minimum yang paling rendah dicapai oleh gelas yang berisi spesimen es batu biasa yaitu 21,25 °C. Diikuti oleh air dalam gelas yang berisi spesimen *ice cube* komersial yang berbeda sedikit saja yaitu 22,625 °C.

Spesimen *ice cubes* custom yang dibuat dari potongan baja *stainless steel austenitic* 316 tanpa diisi material PCM apapun di dalamnya kelihatan tidak mampu menyerap kalor yang banyak dari air dalam gelas dengan temperatur minimum yang dicapai hanya 27,1875 °C.

Untuk melihat seberapa cepat spesimen dalam mendinginkan air dalam gelas, waktu yang diperlukan untuk mencapai temperatur minimum seperti pada Gambar 8 diekstrak dari Gambar 7 yang kemudian hasilnya diplot pada Gambar 9



Gambar 9. Perbandingan durasi untuk mencapai temperatur minimum dari berbagai jenis spesimen *ice cubes*.

Dari Gambar 9 terlihat, air dalam gelas yang berisi spesimen *ice cubes* custom dapat mencapai temperatur terdinginnya dalam waktu yang sangat cepat sekitar 230 detik walaupun temperatur terdinginnya tidak terlalu rendah. Yang menarik untuk diperhatikan disini adalah, waktu yang paling lama bukanlah air dalam gelas yang berisi es batu biasa melainkan gelas yang berisi *ice cubes* komersial.

Hal ini menunjukkan material PCM yang diisi ke dalam *ice cubes* bukanlah air biasa tetapi larutan tertentu yang memiliki

kemampuan dalam menyimpan kalor yang lebih besar dari air. Hal ini bisa menjadi baik atau tidak tergantung dari kebutuhan. Jika yang diinginkan adalah air menjadi dingin dalam waktu yang cepat maka es batu adalah solusinya karena mampu mendinginkan air dengan cepat namun jika yang diinginkan adalah kemampuan untuk mendinginkan air dalam waktu yang lebih lama, *ice cubes* komersial bisa menjadi pilihan.

KESIMPULAN

Rangkaian alat ukur temperatur dengan menggunakan sensor termokopel DS18B20 tahan air dan mikrokontroler Arduino telah berhasil dibangun dan telah dapat digunakan untuk menguji performansi termal dari *stainless steel ice cubes*. Pengujian spesimen telah berhasil mendapatkan evolusi temperatur terhadap waktu dari air dalam gelas yang berisi spesimen *ice cubes* komersial, *ice cubes* custom dan es batu biasa. Temperatur air paling dingin dapat dicapai dengan menggunakan es batu biasa yaitu 21,25 °C. *Ice cubes* komersial walaupun tidak sedingin es batu biasa namun temperatur airnya tidak jauh berbeda, 22,625 °C sedangkan temperatur air yang menggunakan *ice cube* custom tidak mengalami perubahan yang berarti, 27,1875 °C. Waktu tercepat untuk mencapai temperatur terdingin air diberikan oleh air yang berisi spesimen *ice cubes* custom yaitu 230 detik diikuti oleh es batu biasa dan *ice cubes* komersial masing-masing 490 detik dan 590 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mesin Raya, Pusat Mesin Berkualitas, 2022. *Berbagai macam kegunaan ice pack* [Online]. Available: <https://mesinraya.co.id/berbagai-macam-kegunaan-ice-pack>.
- [2] Noor Izani N., et al., 2012. *Contamination of faecal coliforms in ice cubes sampled from food outlets in Kubang Kerian, Kelantan*. Tropical biomedicine, Vol. 29, No. 1, pp. 71-76.
- [3] Shruti V., et al., 2023. *First evidence of microplastic contamination in ready-to-use packaged food ice Cubes*. Environmental Pollution, Vol. 318, p. 120905.
- [4] Zou J., L. Wang, and G. Sun, 2021. *Sustainable and reusable gelatin-based hydrogel “jelly ice cubes” as food coolant. I: feasibilities and challenges*. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, Vol. 9, No. 46, pp. 15357-15364.
- [5] Zou J., L. Wang, and G. Sun, 2021. *Sustainable and reusable gelatin-based hydrogel “jelly ice cubes” as food coolant. II: ideal freeze-thaw conditions*. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, Vol. 9, No. 46, pp. 15365-15374.
- [6] Ezan M.A., et al., 2017. *A numerical study on the usage of phase change material (PCM) to prolong compressor off period in a beverage cooler*. Energy conversion and management, Vol. 142, pp. 95-106.
- [7] Oró E., et al., 2012. *Review on phase change materials (PCMs) for cold thermal energy storage applications*. Applied Energy, Vol. 99, pp. 513-533.
- [8] Da Cunha J.P. and P. Eames, 2016. *Thermal energy storage for low and medium temperature applications using phase change materials—a review*. Applied energy, Vol. 177, pp. 227-238.
- [9] Kumar G.M., et al., 2022. *Reusable device for cooling beverages and liquid foods: a novel approach to replace ice in glass*. Journal of Food Process Engineering, Vol. 45, No. 9, p. e14074.
- [10] Luthfi L., et al., 2022. *Rancang bangun bahan pengganti es batu menggunakan material alternatif*. in Prosiding Seminar Nasional

- Politeknik Negeri Lhokseumawe. Vol. 6, No. 1, pp. 65-69.
- [11] Saha R., et al., 2021. *A working prototype using DS18B20 temperature sensor and arduino for health monitoring*. SN Computer Science, Vol. 2, pp. 1-21.
- [12] Aritonang W., I.A. Bangsa, and R. Rahmadewi, 2021. *Implementasi sensor suhu DS18B20 dan sensor tekanan Mpx5700ap menggunakan mikrokontroler arduino pada alat pendeteksi tingkat stress*. Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan, Vol. 7, No. 1, pp. 153-160.
- [13] Fathoni A.N., et al., 2020. *Design automatic dispenser for blind people based on arduino mega using DS18B20 temperature sensor*. in 2020 Third International Conference on Vocational Education and Electrical Engineering (ICVEE). IEEE.pp. 1-5.
- [14] Progress Tech Industries, 2021. *Tutorial Arduino lebih dari satu sensor suhu DS18B20 – Bahasa Indonesia* [Online]. Available: <https://progresstech.co.id/2021/01/05/tutorial-arduino-lebih-dari-satu-sensor-suhu-ds18b20-bahasa-indonesia/>